

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**



**ПАКУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ.**  
**Практикум**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для студентів,  
які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»,  
спеціалізацією «Інжиніринг пакувань та пакувального обладнання»*

*(денна форма навчання)*

КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Пакувальне обладнання. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг пакування та пакувального обладнання» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О.Л. Сокольський, О.Є. Колосов. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,759 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 42 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 2 від 31.10.2019 р.) за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету (протокол № 8 від 23.09.2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

## **ПАКУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ. Практикум**

Укладачі: *Сокольський Олександр Леонідович*, канд. техн. наук, доц.  
*Колосов Олександр Євгенович*, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний редактор: *Гондляр О.В.*, д-р техн. наук, проф.

Рецензенти: *Степанюк А.Р.*, канд. техн. наук, доцент

Призначення практикуму – закріпити та поглибити теоретичний програмний матеріал, оволодіти практичними навичками роботи в лабораторії пакувального обладнання шляхом самостійного розрахунково-експериментального дослідження пакувального обладнання. Також важливим результатом виконання практикуму є підвищення рівня засвоєння навчального матеріалу, прищеплення умінь і навичок, розвиток наукового мислення та усного мовлення студентів. Практикум містить описи 10 практичних завдань. Кожному практичному завданню передують коротка теоретична частина, яка знайомить студентів з поняттями, використовуваними в роботах, обґрунтовується вибір теми, об'єкта і методу дослідження.

Для кожного практичного завдання сформульована мета та вихідні умови, необхідні для його виконання. Далі наводиться опис прийомів, які використовуються для виконання конкретних розрахункових завдань. У кінці кожної роботи дається список літератури, в якій більш детально розглянуті питання до представленої тематики. Для якісного виконання роботи і самоконтролю студентів запропоновані контрольні запитання до кожної представленої теми. У кінці практикуму наведено перелік рекомендованої літератури до усіх тем.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019

## ВСТУП

Даний практикум призначений для підготовки та проведення лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Пакувальне обладнання» (для студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг пакувань та пакувального обладнання» денної форми навчання.

Призначення практикуму – сприяти розвитку навичок самостійного розрахунково-експериментального дослідження пакувального обладнання.

Практикум містить описи 10 практичних завдань, а саме:

Практична робота №1. Розрахунок роторного живильника.

Практична робота №2. Розрахунок тарілчастого живильника.

Практична робота №3. Розрахунок шнекового живильника.

Практична робота №4. Розрахунок стрічкового живильника.

Практична робота №5. Розрахунок вібраційного живильника.

Практична робота №6. Розрахунок вагового дозатора.

Практична робота №7. Розрахунок дозатора для низьков'язких рідин.

Практична робота №8. Розрахунок дозатора для високов'язких неньютонівських рідин.

Практична робота №9. Визначення в'язкості рідин.

Практична робота №10. Визначення дотичних напружень в рідині.

Кожному практичному завданню передують коротка теоретична частина, яка знайомить студентів з поняттями, використовуваними в роботах, обґрунтовується вибір теми, об'єкта і методу дослідження. Для кожного практичного завдання сформульована мета та вихідні умови, необхідні для його виконання. Далі наводиться опис прийомів, які використовуються для виконання конкретних розрахункових завдань.

У кінці кожної роботи дається список літератури, в якій більш детально розглянуті питання до представленої тематики. Для якісного виконання роботи і самоконтролю студентів запропоновані контрольні запитання до кожної представленої теми.

У кінці практикуму наведено перелік рекомендованої літератури до усіх тем.

# 1. МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

*Практичне заняття* – це вид навчального заняття, на якому викладач організовує детальний розгляд студентами окремих теоретичних положень навчальної дисципліни та формує вміння і навички їх практичного застосування шляхом індивідуального виконання студентами відповідно до сформульованих завдань.

Основна мета практичного заняття — розширення, поглиблення й деталізація наукових знань, отриманих студентами на лекціях та в процесі самостійної роботи і спрямованих на підвищення рівня засвоєння навчального матеріалу, прищеплення умінь і навичок, розвиток наукового мислення та усного мовлення студентів.

Завдання практичного заняття:

- підготовка до самостійного виконання практичних завдань;
- підготовка студентів до контрольних робіт (за наявності);
- набуття умінь застосування теоретичних знань на практиці;
- підготовка студентів до майбутньої практичної діяльності тощо.

Основною вимогою до проведення практичних занять є забезпечення розуміння студентами теоретичних основ і творчого виконання практичної роботи. Ефективність практичного заняття залежить від самостійності виконання роботи кожним студентом.

Перелік тем і зміст практичних занять визначаються робочою навчальною програмою дисципліни. Практичне заняття проводиться, як правило, з групою.

Практичні заняття можуть проводитися в аудиторії і в навчальних лабораторіях, оснащених необхідними технічними засобами навчання та обчислювальною технікою.

## **2. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДГОТОВКИ ТА ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

Робочою навчальною програмою дисципліни передбачено практичні заняття загальним обсягом вісімнадцять годин.

Дві останніх години практичних занять відводяться на захист протоколу з виконаних практичних занять.

Впродовж циклу практичних занять розглядається до шести тем, обраних студентами за рекомендаціями викладача зі списку тем робочої навчальної програми дисципліни.

Безпосередньо перед виконанням практичних занять викладач надає індивідуальні вихідні дані для проведення необхідних розрахунків при проведенні розрахункової частини.

На кожному практичному занятті розглядається підготовлений студентами протокол з попереднього практичного заняття. Оформлення протоколу про виконання практичного заняття сприяє розвитку у студентів самостійної ініціативи в роботі, формує вміння проводити необхідні порівняння та співставлення, знаходити взаємозв'язки окремих явищ, а також робити обґрунтовані висновки з проведених результатів досліджень.

# Практична робота №1

## РОЗРАХУНОК РОТОРНОГО ЖИВИЛЬНИКА

**Мета роботи:** навчитися визначати основні параметри роторного живильника

### 1.1. Теоретична частина

Одними з найпоширеніших об'ємних живильників є роторні, звані також барабанными або шлюзовими. Ротор обертається в корпусі навколо горизонтально розташованій осі. Коли мірні ємкості, утворені перегородками на валу, перебувають угорі, в них із бункера надходить продукт. При перевероті ємкості доза продукту висипається в продуктопровід і далі в пакет.

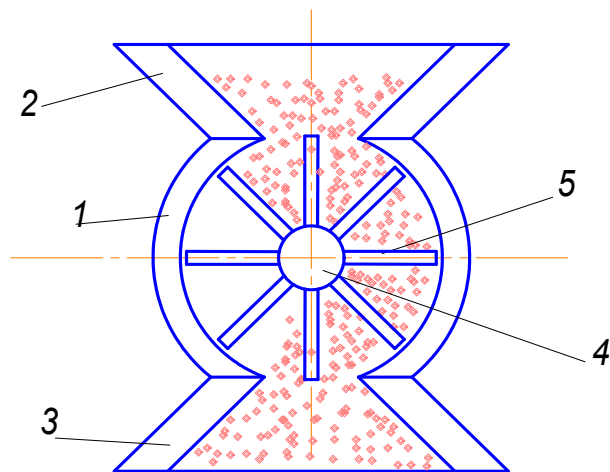


Рис. 1.1. Схема роторного живильника:

- 1 – корпус;
- 2 – завантажувальна лійка;
- 3 – розвантажувальна лійка;
- 4 – вал, що обертається в корпусі;
- 5 – перегородки, закріплені на валу.

Знайдемо площу поперечного перерізу жолоба:

$$F = \frac{\left( \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} - z \cdot b_1 \right)}{z},$$

де  $D$  – діаметр кола, що описують лопаті;  $d$  – діаметр барабана;  $b_1$  – товщина лопаті;

$l_1$  – довжина робочої поверхні лопаті,  $l_1 = \frac{D - d}{2}$ .

Продуктивність роторного живильника:

$$Q = l \cdot z \cdot n \cdot \rho \cdot \psi$$

в цій формулі  $l$  – довжина барабану і горловини;  $z$  – кількість лопатей;  $n$  – кількість обертів вала;  $\rho$  – насипна густина матеріалу;  $\psi$  – коефіцієнт заповнення жолоба (0,8...0,9).

Як видно з формули, продуктивність дозування залежить головним чином від ступеня наповнення жолоба. Остання залежить від частоти обертання барабана: чим більше частота, тим гірше заповниться кожен жолобок. Тому частоту обертання барабанних дозаторів обмежують 30...50 хв<sup>-1</sup>.

Площа горловини над барабаном:

$$F_r = l * b = 0,3 * 0,16 = 0,048 \text{ м}^2,$$

де  $b$  – ширина горловини.

Потужність для приводу барабана дозатора визначається внутрішнім зчепленням частинок продукту, що захоплюються дозатором і що залишаються в бункері. Сила зчеплення (тертя), що виникає при цьому, визначається по формулі:

$$P_{\text{сц}} = f_{\text{сц}} * F_r * P;$$

в цій формулі  $f_{\text{сц}}$  – коефіцієнт внутрішнього зчеплення матеріалу;  $P$  – сила тиску матеріалу на поверхню барабана:

$$P = m * g,$$

де  $m$  – маса матеріалу;  $m = V * \rho$ ;  $V$  – об'єм матеріалу, що давить на барабан.

Тоді масу можна переписати як:

$$m = \rho * l * h * b.$$

Необхідно також подолати силу тертя матеріалу об внутрішню поверхню барабана. Ця сила діє лише в нижній чверті барабана і може бути визначена за формулою:

$$P_{\text{тр}} = \Delta m * g * f,$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя матеріалу об стінку барабана;  $\Delta m$  – частина маси матеріалу, що знаходиться в жолобках і чинить тиск на стінку барабана, залежить від конструкції і розміру жолобків:

$$\Delta m = \frac{F l \rho z \psi}{4}.$$

Частота обертання барабана:

$$\omega = \frac{2 * \pi * n}{60}$$

У барабанному дозаторі половина жолобків завантажена, а друга половина порожня. Маса матеріалу, що знаходиться в барабані, сприяє його обертанню. Центр тяжіння прикладених мас знаходиться приблизно на відстані 2/3 радіусу барабана  $R_6$  від центру обертання.

Тоді потужність на валу роторного живильника:

$$N = (P_{\text{сц}} * K_1 + P_{\text{тр}}) * \omega * R_6 - m * g * \frac{1}{3} * \omega * R_6;$$

в цій формулі  $K_1$  – коефіцієнт, що враховує затрати енергії на можливе роздрібнення матеріалу внаслідок потрапляння його між лопатями і кромкою горловини, для кускових матеріалів  $K_1 = 2$ .

## 1.2. Розрахункові завдання

Розрахувати продуктивність та потужність роторного живильника за таких умов:

№	$D$ , мм	$d$ , мм	$b$ , мм	$b_l$ , мм	$l$ , мм	$z$ , шт	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$h$ , мм	$f_{cu}$	$f_l$
1	200	60	140	10	400	12	1800	800	0,32	0,43
2	240	80	160	10	500	8	2400	600	0,35	0,38
3	300	100	200	14	600	10	3600	1000	0,33	0,33
4	360	120	240	16	1000	12	3200	1400	0,42	0,28
5	200	80	140	10	400	12	1800	800	0,31	0,43
6	240	100	160	10	500	8	2500	600	0,34	0,38
7	300	120	200	14	600	10	3500	1200	0,33	0,37
8	360	140	240	16	1400	12	3200	1400	0,42	0,28
9	200	60	160	10	400	12	1800	800	0,32	0,44
10	240	80	180	12	500	8	2200	600	0,35	0,38
11	300	100	200	14	700	10	3300	900	0,33	0,35
12	360	120	240	16	1200	12	3200	1400	0,42	0,28
13	200	60	140	12	400	12	1800	900	0,32	0,43
14	240	80	160	10	600	8	2400	800	0,31	0,38
15	300	100	200	14	800	10	3600	1200	0,33	0,36
16	360	120	240	16	1600	12	3200	1600	0,42	0,28

### Зміст протоколу

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

### Література

1. Гавва О.М., Беспалько А.П. Пакувальне обладнання. - К.: ІАЦ «Упаковка», 2008.
2. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.

### Контрольні запитання та завдання

1. Які показники є основними при розрахунку живильника?
2. Як визначають продуктивність роторного живильника?
3. Вкажіть, від яких параметрів залежить потужність, споживана роторним живильником.



## Практична робота №2

### РОЗРАХУНОК ТАРІЛЧАСТОГО ЖИВИЛЬНИКА

**Мета роботи:** навчитися визначати основні параметри тарілчастого живильника

#### 2.1. Теоретична частина

Тарілчасті дозатори (рис. 2.1) працюють за принципом об'ємного дозування шляхом скидання скребком продукту з горизонтальної тарілки, розташованої під випускним вікном бункера. Регулювання подачі можна здійснювати зміною висоти горловини і швидкості обертання таріли. Проте швидкість обертання таріли обмежена силами її зчеплення з матеріалом і не повинна допускати його відцентровий розліт.

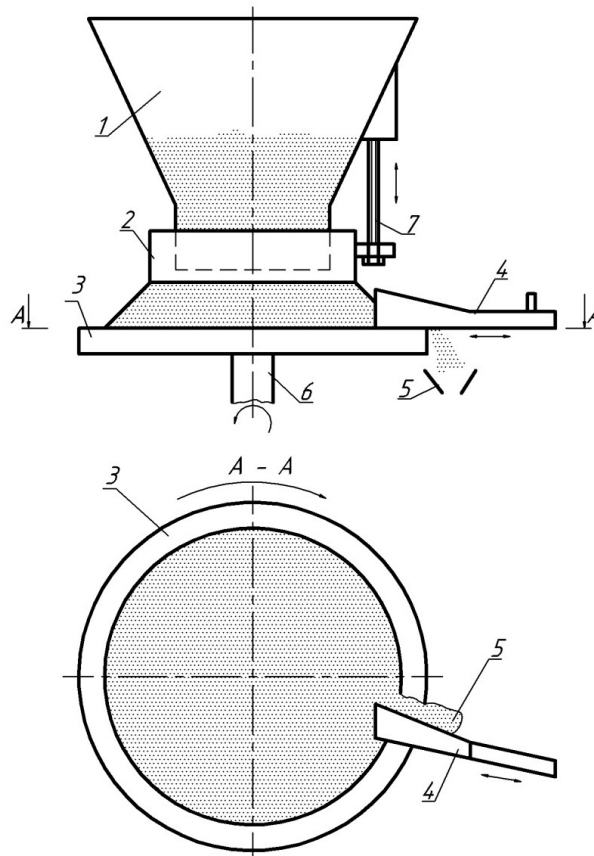


Рис. 2.1. Схема тарілчастого живильника:  
1 – бункер; 2 – регульована по висоті горловина; 3 – таріль, що обертається;  
4 – скребок; 5 – прийомна горловина;  
6 – привідний вал; 7 – регулювальний гвинт.

За допомогою гвинта 7 регулюється інтенсивність подачі сипучого матеріалу на таріль. Матеріал що висипається з бункеру 1, потрапляє на таріль 3, за рахунок того, що таріль обертається, на матеріал починає діяти відцентрова сила, що змушує його зсуватися до краю тарілки. Скребок 4, що підводиться збоку тарілки, знімає певну кількість матеріалу і зсипає його в прийомну горловину 5. Таріль приводиться в рух за допомогою приводного валу 6, що може бути з'єднаним з редуктором.

Отже, продуктивність тарілчастого живильника залежить від висоти горловини та частоти обертання тарілки. Але треба обов'язково слідкувати при встановленні частоти обертів тарілки, за тим, щоб швидкість її не була зовеликою, тобто, щоб не виникала така відцентрова сила, яка буде призводити до розлітання матеріалу.

Працездатність дозатора буде забезпечена, якщо відцентрові сили будуть менше сили зчеплення продукту з тарілкою. В цьому випадку продукт не скидатиметься самочинно з диска по всій довжині кола:

$$\begin{aligned} J &< F_{mp}; \\ mR_1\omega^2_{kp} &< mgf, \end{aligned}$$

звідки критична кутова швидкість,  $c^{-1}$ :

$$\omega_{кр} < \sqrt{\frac{gf}{R_1}}$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя продукту об диск;  $R_1$  – найбільший радіус обертання частинки:

$$R_1 = R + \frac{h}{tg\theta},$$

$\theta$  – кут природного укосу продукту під час руху.

Практична кутова швидкість приймається як  $(0,3-0,5)\omega_{кр}$ .

Об'єм кільцевого шару трикутного перетину, що знімається скребком за один оберт тарілки:

$$V_{сл} = 2 \pi R_0 F_{сл},$$

де  $R_0$  – відстань від осі обертання тарілки до центру тяжіння шару:

$$R_0 = R + \frac{h}{3tg\theta},$$

$F_{сл}$  – площа поперечного перетину кільцевого трикутного шару:

$$F_{ca} = \frac{h^2}{2tg\theta} ,$$

$R$  – радіус циліндра.

Продуктивність тарілчастого дозатора, кг/с:

$$Q = V_{ca} \cdot \rho \cdot n = V_{ca} \rho \frac{\omega}{2\pi} .$$

Підставивши всі значення складових, формулу продуктивності можна написати так:

$$Q = \omega \cdot \rho \cdot \left( R + \frac{h}{3tg\theta} \right) \frac{h^2}{2tg\theta} .$$

Витрата енергії на привід дозатора обумовлена переміщенням продукту по тарілці при його осипанні і тертям об скребок. Сила тертя продукту по тарілці

$$F_{mp} = m g f ,$$

де  $m = F_{cl} L \rho$  – маса продукту, що рухається по тарілці;  $L$  – довжина призми зсипання:

$$L = 2 \pi R_0 .$$

Тоді потужність, що витрачається на подолання цього опору, Вт:

$$N_1 = F_{mp} \cdot \omega \cdot R_0 .$$

За умови нерозривності потоку швидкість руху матеріалу по скребку дорівнює окружній швидкості диска в центрі тяжіння перетину:

$$v = \omega R_0 .$$

Потужність, що витрачається на подолання опору від тертя матеріалу об скребок, Вт:

$$N_2 = F_{mp} \omega R_0 f \cos\beta = N_1 f \cos\beta ,$$

де  $\beta$  – кут установки скребка.

Тоді загальна потужність на валу дозатора, Вт:

$$N = N_1 (1 + f \cos\beta) .$$

## 2.2. Розрахункові завдання

Розрахувати продуктивність та потужність живильника за таких умов:

№	$R$ , мм	$h$ , мм	$\theta$ , град	$f$	$\beta$ , град	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
1	100	25	40	0,42	30	1800
2	150	20	45	0,33	35	2400
3	170	30	50	0,36	40	3600
4	200	40	55	0,28	45	3200
5	80	20	40	0,42	30	1800
6	140	25	45	0,33	35	2500
7	160	35	50	0,36	40	3600
8	180	45	55	0,32	45	3100
9	100	25	35	0,38	30	1800
10	150	20	40	0,35	35	2200
11	170	35	45	0,32	40	3400
12	200	40	50	0,37	45	3200
13	100	25	35	0,42	45	1600
14	150	20	40	0,32	30	2100
15	170	30	45	0,35	40	3500
16	200	40	55	0,42	50	3200

### Зміст протоколу

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

### Література

1. Гавва О.М., Беспалько А.П. Пакувальне обладнання. - К.: ІАЦ «Упаковка», 2008.
2. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.

### Контрольні запитання та завдання

1. Які показники є основними при розрахунку живильника?
2. Як визначають продуктивність тарілчастого живильника?
3. Вкажіть, від яких параметрів залежить потужність, споживана тарілчастим живильником.

## Практична робота №3

### РОЗРАХУНОК ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА

**Мета роботи:** навчитися визначати основні параметри шнекового живильника

#### 3.1. Теоретична частина

Шнекові дозатори (живильники) працюють за принципом об'ємного дозування. Їх продуктивність можна регулювати частотою обертання шнека і ступенем його заповнення. Остання здійснюється шибровою заслінкою, що встановлюється на завантажувальній горловині.

Шнековий живильник на рис. 3.1 має такий устрій: у корпусі 1 живильника обертається шнек 2, що приводиться через шків 3 або редуктор. Матеріал, що дозується, надходить в корпус живильника через впускну горловину 4. Матеріал захоплюється шнеком і подається в дозатор через випускний отвір 5.

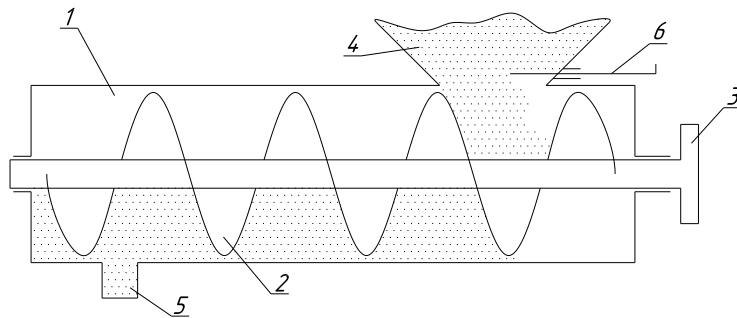


Рис. 3.1. Схема шнекового живильника із горизонтальним розташуванням шнека:

- 1 – корпус;
- 2 – шнек;
- 3 – привід;
- 4 – завантажувальне вікно;
- 5 – розвантажувальне вікно;
- 6 – заслінка.

Для безперервного транспортування сипкого матеріалу продуктивність можна визначити як:

$$V = S \cdot v,$$

де  $S$  – площа поперечного перетину потоку матеріалу;  $v$  – швидкість подачі матеріалу.

Витки шнека живильника звичайно виготовляються із металевої стрічки, яку потім приварюють до валу.

Якщо товщина стрічки мала, то в розрахунках їй можна нехтувати:

$$S = \lambda \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4},$$

де  $D$  – зовнішній діаметр витків;  $d$  – діаметр валу;  $\lambda$  – коефіцієнт заповнення перерізу.

Не допускають 100% заповнення матеріалу перерізу, щоб уникнути утворення заторів і потрапляння матеріалу в підшипники, зазвичай приймають  $\lambda = 0,125 \dots 0,4$ .

$$v = \frac{t \cdot n}{60},$$

де  $t$  – крок навивки витків, зазвичай рівний  $(0,5 \dots 1) \cdot D$ ;  $n$  – число обертів валу за хвилину.

Таким чином, об'ємна продуктивність шнекового живильника:

$$V = \lambda \frac{\pi t n (D^2 - d^2)}{4 \cdot 60} \psi,$$

де  $\psi$  – коефіцієнт зниження продуктивності при нахилі жолоба, визначається із таблиці:

$\alpha$	0	5	10	15	20
$\psi$	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Вагова продуктивність визначиться як

$$P = V \cdot \rho,$$

де  $\rho$  – насипна густина продукту.

Потужність, що витрачається на привід шнекового дозатора, Вт:

$$N = P(L \cdot K + H)g \frac{1}{\eta},$$

де  $L$  – довжина шнека, м;  $K = 1,2 \dots 2,5$  – коефіцієнт опору переміщенню продукту в корпусі дозатора;  $H$  – висота підйому продукту, м;  $\eta$  – к. к. д. передачі.

### 3.2. Розрахункові завдання

Розрахувати потужність горизонтального шнекового живильника та частоту обертання шнека для забезпечення заданої продуктивності за таких умов:

№	$D$ , мм	$d$ , мм	$t$ , мм	$\lambda$	$P$ , кг/год	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
1	40	16	40	0,2	30	1800
2	60	20	60	0,3	60	2400
3	80	20	80	0,4	100	3600
4	120	30	120	0,3	200	3200
5	50	20	40	0,2	30	1800
6	70	24	60	0,3	60	2400
7	100	20	80	0,4	120	3600
8	140	30	120	0,3	200	3200
9	40	16	30	0,2	30	1800
10	60	20	50	0,3	60	2400
11	80	20	60	0,4	100	3600
12	120	30	100	0,3	200	3200
13	40	16	40	0,2	50	1700
14	60	20	60	0,3	80	2200
15	80	20	80	0,4	160	3500
16	120	30	120	0,3	300	3100

#### Зміст протоколу

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

#### Література

3. Гавва О.М., Беспалько А.П. Пакувальне обладнання. - К.: ІАЦ «Упаковка», 2008.

4. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.

#### Контрольні запитання та завдання

1. Які показники є основними при розрахунку живильника?
2. Як визначають продуктивність шнекового живильника?
3. Вкажіть, від яких параметрів залежить потужність, споживана шнековим живильником.

## Практична робота №4

### РОЗРАХУНОК СТРІЧКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА

**Мета роботи:** навчитися визначати основні параметри стрічкового живильника

#### 4.1. Теоретична частина

Стрічковий живильник є стрічковим транспортером із плоскою стрічкою. Застосовують також пластинчасті і скребкові транспортери. Призначені для безперервного дозування різноманітних сипких, кускових матеріалів і штучних виробів. Іноді використовуються для порційного дозування.

Регулювання продуктивності здійснюється зміною швидкості подачі або товщини шару матеріалу, наприклад, заслінкою на бункері.

Принцип дії стрічкового живильника (рис. 4.1) полягає в наступному: сипкий матеріал, що знаходиться в бункері 1 висипається під дією сили тяжіння на стрічку 2; стрічка 2 замкнена і натягнута на роликах, один з роликів є привідним 3, тобто за рахунок сили тертя між приводним роликом 3 та стрічкою 2 здійснюється рух останньої; матеріал транспортується стрічкою 2 і висипається в приймальну лійку.

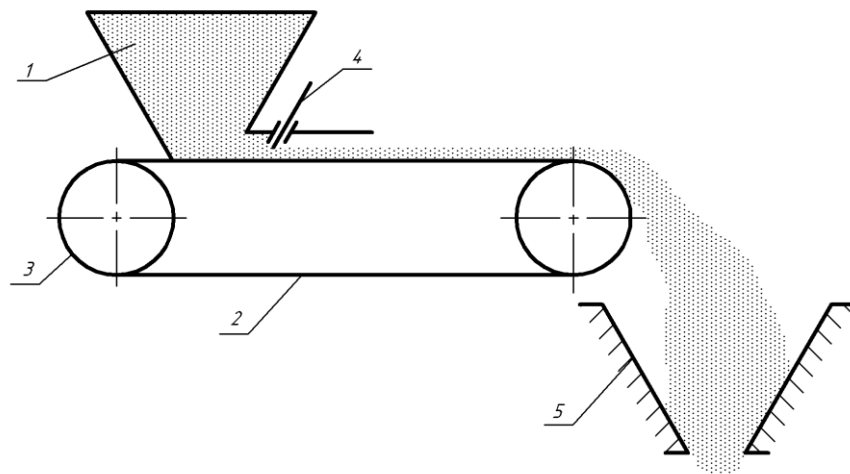


Рис. 4.1. Схема стрічкового живильника: 1 – бункер; 2 – стрічка; 3 – привідний ролик; 4 – заслінка (шибер); 5 – приймальна лійка.



Стрічкові дозатори призначені для безперервного об'ємного дозування. Продуктивність стрічкових дозаторів можна регулювати в широких межах зміною швидкості стрічки або положення шибєрної засувки і визначити по формулі, кг/с:

$$Q = b h v \rho \psi$$

де  $b$  – ширина шару продукту на стрічці, м;  $h$  – товщина шару продукту на стрічці, м;  $v$  – швидкість стрічки, м/с;  $\rho$  – насипна густина продукту, кг/м<sup>3</sup>;  $\psi$  – коефіцієнт заповнення.

Потужність для приводу стрічкового дозатора складається з потужності на переміщення продукту  $N_1$  і потужності на тертя продукту об стінки жолоба  $N_2$ , Вт:

$$N_1 = W(m_o v + Q L_f)g + H \cdot Q \cdot g,$$

де  $m_o$  – маса стрічки, кг;  $L_f$  – горизонтальна проекція стрічки, м;  $H$  – висота підйому продукту, м;  $W$  – коефіцієнт опору переміщенню навантаженої стрічки.

Якщо огорожуючі стінки жолоба будуть нахилені до горизонту під кутом природного укосу, то на них тиснутиме маса матеріалу, обмежена об'ємом  $h^2 \cdot l / \operatorname{tg} \theta$  ( $l$  – довжина жолоба,  $\theta$  – кут природного укосу).

Нормальна до жолоба сила, Н:

$$P_n = mg \cos \theta = \frac{h^2 l \rho}{\operatorname{tg} \theta} g \cos \theta$$

Потужність на тертя продукту об жолоб, Вт:

$$N_2 = P_n f g = h^2 l \rho g f g \frac{\cos \theta}{\operatorname{tg} \theta},$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя продукту об жолоб.

Повна потужність на привід стрічкового дозатора

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta},$$

де  $\eta$  – ККД передачі приводу.

## 4.2. Розрахункові завдання

Розрахувати потужність живильника та швидкість для забезпечення заданої продуктивності за таких умов:

№	$b$ , мм	$h$ , мм	$L_f$ , м	$H$ , м	$Q$ , кг/год	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\psi$	$m_o$ , кг	$\theta$ , град	$f$	$W$
1	200	40	1,5	0,5	130	2800	0,8	4,5	30	0,32	0,2
2	300	30	3	1	180	1400	0,9	11	20	0,35	0,1
3	350	60	1,8	0	400	3400	0,7	8,5	15	0,33	0,3
4	400	50	2,5	0,7	600	3700	0,6	12	25	0,42	0,2
5	220	40	1,5	0,6	130	2800	0,8	5	30	0,32	0,2
6	330	30	3	1,2	180	1400	0,9	12	20	0,35	0,1
7	380	60	1,8	0,5	400	3400	0,7	10	15	0,33	0,3
8	440	50	2,5	0,8	600	3700	0,6	16	25	0,42	0,2
9	200	50	1,6	0,5	130	2800	0,8	4,5	30	0,33	0,2
10	300	40	3,5	1	180	1400	0,9	11	20	0,38	0,1
11	350	80	3,8	0	400	3400	0,7	8,5	15	0,28	0,3
12	400	60	3,5	0,7	600	3700	0,6	12	25	0,36	0,2
13	200	40	1,5	0,5	160	2400	0,8	4,5	30	0,32	0,2
14	300	30	3	1	220	1800	0,9	11	20	0,35	0,1
15	350	60	1,8	0	460	3200	0,7	8,5	15	0,33	0,3
16	400	50	2,5	0,7	660	2700	0,6	12	25	0,42	0,2

### Зміст протоколу

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

### Література

1. Гавва О.М., Беспалько А.П. Пакувальне обладнання. - К.: ІАЦ «Упаковка», 2008.
2. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.

### Контрольні запитання та завдання

1. Які показники є основними при розрахунку живильника?
2. Як визначають продуктивність стрічкового живильника?
3. Вкажіть, від яких параметрів залежить потужність, споживана стрічковим живильником.

## Практична робота №5

### РОЗРАХУНОК ВІБРАЦІЙНОГО ЖИВИЛЬНИКА

**Мета роботи:** навчитися визначати основні параметри вібраційного живильника

#### 5.1. Теоретична частина

У пакувальній галузі вібраційні живильники (конвеєри) використовуються для транспортування продуктів пакування: сипких, штучних або окремих виробів. Характерною особливістю використання вібраційних конвеєрів у пакувальному обладнанні є висока рівномірність подачі сипких продуктів, добра керованість транспортованим потоком (можливість швидкої зупинки) та можливість регулювання товщини шару продукту.

З великої кількості типів вібраційних конвеєрів знайшли застосування одно- та двомасні, з направленими та незалежними коливаннями.

Коливальні рухи робочому органу передаються електромагнітним, пневматичним або ексцентриковим вібратором з можливістю зміни амплітуди і вектора коливань. Робочий орган підкидає частинки матеріалу під кутом у напрямі переміщення.

Загальний вигляд електровібраційного живильника лоткового типу показаний на рис. 5.1.

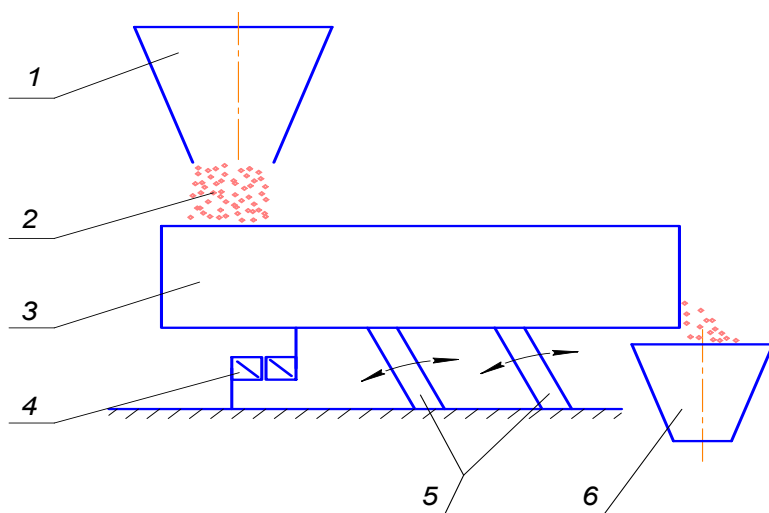


Рис. 5.1. Схема віброживильника:

- 1 – бункер;
- 2 – матеріал;
- 3 – жолоб;
- 4 – вібратор;
- 5 – ресори;
- 6 – приймач.

Живильник складається з лоткового вантажонесучого органу 1, знизу якого розташований вібратор 4. Принцип дії електромагнітного вібратора заснований на наступному: при проходженні струму через котушку із залізним сердечником останній намагнічується.

Якщо струм припиняється, сердечник втрачає магнітні властивості. Котушка електромагніту з'єднана з рухомою частиною вібратора (якорем) за допомогою пружного зв'язку. Пульсуюча напруга отримується випрямленням змінного струму в спеціальних пристроях – випрямлячах.

Випрямляч пропускає струм лише в одному напрямі і, отже, протягом напівперіоду струм буде відсутній. Внаслідок цього електромагніт намагнічуватиметься і розмагнічуватиметься 50 разів в секунду. Таким чином, система здійснюватиме 3000 коливань в хвилину. З цією ж частотою коливається вся частина віброживильника з лотком.

Робоча частота вимушених коливань конвеєра  $\nu$  може становити: 100, 50 або 25 Гц. Частоту коливань конвеєра вибирають в залежності від наступних чинників:

- величини коливних мас;
- довжини конвеєра.

За частотою вимушених коливань конвеєри характеризуються таким чином:

- 100 Гц. Частота відповідає частоті притягування електромагнітом якоря (тобто двічі за період, при додатному та від'ємному значенні струму) за умови живлення безпосередню від мережі. Важко досягнути усунення "паразитних" коливань, значний шум. Довжина конвеєра не повинна перевищувати 0,8-1 м з вагою робочої маси до 50 кг.

- 50 Гц. На електромагніт подається випрямлений струм. Довжина конвеєра не повинна перевищувати 1,5 м, а вага – 100 кг. Необхідно забезпечити достатньо високу жорсткість жолоба.

- 25 Гц. Живлення здійснюється через подільник. Низький рівень шуму, легко усуваються паразитні коливання, довжина конвеєра може досягати 2,5 – 3 м, при цьому вага конвеєра не має суттєвого значення.

Необхідно зазначити, що найбільшу швидкість транспортування можна досягнути за умови частоти 100 Гц, а зниження швидкості транспортування у разі зменшення частоти коливань конвеєра з метою підвищення стабільності його роботи необхідно компенсувати збільшенням амплітуди коливань.

За заданою швидкістю транспортування продукту визначається амплітуда поздовжніх коливань

$$A_n = \frac{V}{2\pi\nu K_{uu}},$$

де  $V$  – задана швидкість транспортування продукту, м/с;  $\nu$  – частота вимушених коливань конвеєра, Гц;  $A_n$  – поздовжня складова амплітуди направлених коливань конвеєра, м;  $K_{uu}$  – коефіцієнт швидкості, який визначається експериментально, як

співвідношення:  $K_{uu} = \frac{V}{V_{\max}},$

де  $V_{max}$  – максимальна теоретична швидкість лотка конвеєра, визначається як перша похідна від переміщення лотка конвеєра:

$$V_{max} = 2\pi\nu A_n;$$

$K_{ui}$  – приймається за попередніх розрахунків для основних продуктів, що пакуються на автоматизованому обладнанні рівним 0,3 - 0,5.

У залежності від жорсткості жолоба і його довжини, конструюються елементи підсилення жорсткості, тобто приймається кількість пружин та обирається спосіб їх кріплення. Визначаються робоча ( $m_1$ ) та реактивна ( $m_2$ ) маси конвеєра,  $m_2 = (1 \div 5)m_1$ .

Проводиться розрахунок мінімальної не защемленої робочої довжини пружини  $l_{min}$  (м) та її товщини на задану частоту власних коливань конвеєра:

$$L_{min} = \frac{10.215 \cdot A}{[\sigma_{-1}]} \sqrt[3]{\frac{\nu_0^2 \cdot E^2 M_{np}}{b \cdot i}},$$

де  $A$  – сумарна амплітуда коливань обох мас, визначається за виразом

$$A = A_1 + A_2 = A_1 \cdot \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right);$$

$\sigma_{-1}$  – допустиме напруження згину під час знакозмінного навантаження, Па (для пружинної сталі марки 60С2  $\sigma_{-1} = 3 \cdot 10^9$  Па);  $\nu_0$  – власна частота коливань конвеєра,  $\nu_0 = (1,04-1,085)\nu$ ;  $E$  – модуль пружності матеріалу пружини, для пружинних сталей  $E=2-2,1 \cdot 10^{11}$  Па;  $M_{np}$  – приведена маса конвеєра (кг), визначається за виразом:

$$M_{np} = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2};$$

$b$  – товщина пружини (м), яку вибирають конструктивно;  $i$  – кількість пружин.

Приймаючи робочу довжину пружини  $l_p > l_{min}$ , здійснюється розрахунок товщини пружини  $h$  (м) за виразом

$$h = l_p \sqrt[3]{\frac{4\pi^2 \nu_0^2 M_{np}}{E b i K_3}},$$

де  $K_3$  – коефіцієнт защемлення пружини, який враховує різницю між реальним і теоретичним защемленням і приймається

$$K_3 = \frac{+0.8}{+0.5} .$$

Необхідну вимушуючу силу електромагнітного вібробудника  $F(H)$ , знаходять за виразом:

$$F = \frac{4\pi^2 v_0^2 A M_{np}}{\mu z^2 \cos \beta} ,$$

де  $\mu$  – коефіцієнт динамічності,

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{(1 - z^2)^2 + \gamma^2 \cdot z^2}} ,$$

$z$  – коефіцієнт резонансного налагодження,  $z = \frac{v}{v_0}$  та вибирається рівним 0,92 - 0,96,

при цьому забезпечується дорезонансний режим роботи конвеєра, за якого знижується вплив маси продукту на стабільність швидкості транспортування;  $\gamma$  – показник внутрішнього опору, для сталіх пружин  $\gamma = 0,004 - 0,006$ .

Оптимальний кут вібрації  $\beta$  для транспортованих сипких та гранульованих продуктів визначається експериментально. Кут  $\beta$  вибирається в межах  $\beta = 10 - 50^\circ$  і залежить від амплітуди коливань і параметра перевантаження

$$W = \frac{4\pi^2 v^2 A_n \operatorname{tg} \beta}{g \cdot \cos \alpha} ,$$

де  $\alpha$  – кут нахилу робочого органу до горизонталі.

Параметр перевантаження показує на співвідношення між вертикальною складовою прискорення жолоба до прискорення вільного падіння  $g$  в залежності від поздовжньої складової амплітуди  $A_n$ , кута вібрації  $\beta$ , властивостей транспортованого продукту та його товщини і може набувати значення  $W = 1 \div 14$ .

## 5.2. Розрахункові завдання

Обрати робочу частоту коливань, розрахувати амплітуду коливань живильника, геометрію пружин та вимушуючу силу віброзбудника за таких умов:

№	$L$ , м	$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$V$ , м/с	$K_{ш}$	$i$ , шт	$b$ , м
1	1	10	20	0,2	0,3	4	0,02
2	1,2	20	50	0,1	0,4	4	0,03
3	1,5	30	60	0,3	0,5	4	0,03
4	2,5	40	80	0,2	0,4	4	0,04
5	1	12	20	0,1	0,3	4	0,02
6	1,2	25	50	0,2	0,4	4	0,03
7	1,5	40	60	0,4	0,5	4	0,03
8	2,5	50	80	0,3	0,4	4	0,04
9	1	10	30	0,2	0,3	4	0,02
10	1,2	20	60	0,1	0,4	4	0,03
11	1,5	30	80	0,3	0,5	4	0,03
12	2,5	40	100	0,2	0,4	4	0,04
13	1	10	20	0,3	0,4	4	0,04
14	1,2	20	50	0,2	0,2	4	0,05
15	1,5	30	60	0,1	0,3	4	0,04
16	2,5	40	80	0,4	0,5	4	0,03

### Зміст протоколу

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

### Література

1. Гавва О.М., Беспалько А.П. Пакувальне обладнання. - К.: ІАЦ «Упаковка», 2008.
2. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.

### Контрольні запитання та завдання

1. Які показники є основними при розрахунку живильника?
2. Як визначають продуктивність стрічкового живильника?
3. Вкажіть, від яких параметрів залежить вибір частоти вимушених коливань віброзбудника.

## Практична робота №6 РОЗРАХУНОК ВАГОВОГО ДОЗАТОРА

**Мета роботи:** навчитися визначати основні параметри вагових дозаторів

### 6.1. Теоретична частина

Ваговий дозатор для сипких продуктів (рис. 6.1) складається з ряду окремих вузлів, кожний з яких виконує окремі функції технологічної операції дозування. Продукт подається на дозування у приймальний бункер 1 і звідти відбирається транспортною системою 2, яка переміщує його до вузла набору дози продукту.

Вага продукту, що набирається у зважувальну ємкість 3, вимірюється датчиком ваги 4 і контролюється системою керування 5. При наближенні маси продукту, яка знаходиться у зважувальній ємкості, до величини заданої дози, система керування переводить привод транспортної системи 6 у режим повільної контрольованої подачі і при досягненні заданої дози зупиняє транспортну систему.

У процесі набору дози продукту датчик вимірювання ваги навантажується як сталими масами, так і змінною масою продукту, який подається у зважувальну ємкість. Повне зусилля на датчик визначається як сума сталого статичного і змінного динамічного навантаження (рис. 6.2):

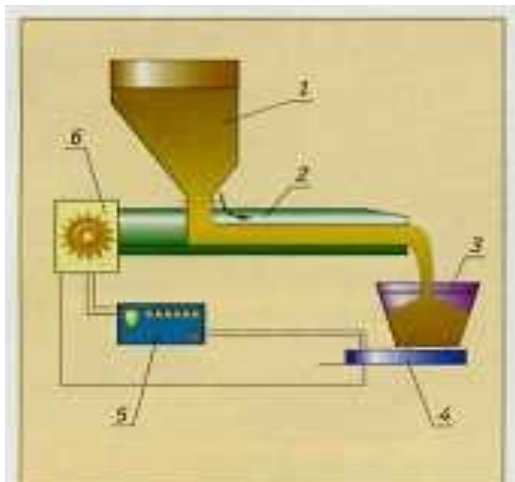


Рис. 6.1. Схема вагового дозатора для сипких продуктів

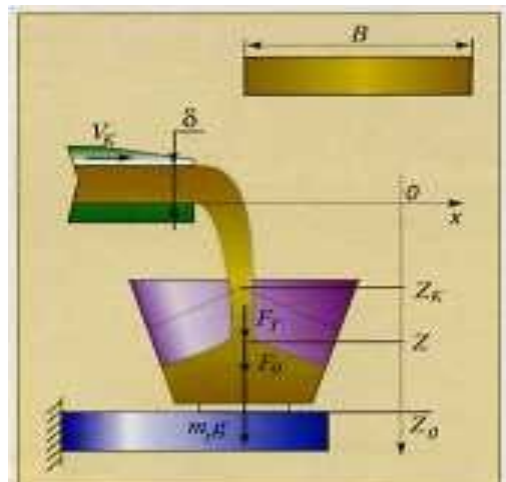


Рис. 6.2. Схема динамічного навантаження зважувального елемента



Для забезпечення точності формування дози і підвищення продуктивності пристрою процес наповнення місткості реалізується у два етапи:

- грубе дозування – інтенсивна подача продукту у зважувальну ємкість;
- точне дозування – продукт подається з мінімальною інтенсивністю.

Закінчення процесу формування дози характеризується припиненням подачі продукту, тобто величина динамічного тиску зникає, з повне динамічне навантаження на датчик визначається тільки масою продукту, який знаходиться у зважувальній ємкості.

Значення критичної миттєвої маси продукту у зважувальній ємкості, при досягненні якої необхідно зменшувати інтенсивність подачі продукту:

$$m_{tкр} = m_k - B\delta\rho v_k K_p \cdot \sqrt{2g \cdot \left(z + \frac{\delta}{2}\right)},$$

де  $m_k$  – задана маса дози;  $B$  – ширина потоку продукту у транспортній системі;  $\delta$  – товщина шару продукту на несучому органі транспортної системи;  $\rho$  – насипна маса продукту;  $v_k$  – швидкість подачі продукту;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $z$  – миттєве значення висоти між виходом подавальної системи та точкою контакту потоку з поверхнею продукту, що знаходиться у мірній ємкості;  $K_p$  – аеродинамічний коефіцієнт опору повітря потоку продукту.

Введемо коефіцієнт

$$\phi = m_{tкр}/m_k,$$

що визначає частину дози, яка набирається в інтенсивному режимі роботи дозатора, тобто показує раціональність технологічної операції дозування ваговим дозатором. Якщо  $\phi \geq 1$ , інтенсивність подачі продукту настільки висока, що складова динамічного тиску перевищує величину повного динамічного навантаження на датчик і процес контролю набору дози системою керування стає неможливим.

Миттєве значення величини маси продукту у зважувальній ємкості

$$m_t = pt = B\delta\rho v_k t,$$

де  $p$  – інтенсивність подачі продукту (кг/с);  $t$  – тривалість операції дозування, с;  $0 < t < t_k$ ;  $t_k$  – час формування заданої дози  $m_k$ .

По закінченню стадії попереднього дозування (наборі дози  $m_{tкр}$ ) інтенсивність подачі продукту зменшують в декілька разів до повного набору заданої дози. Зменшення інтенсивності подачі можна здійснювати зменшенням параметрів  $v_k$ ,  $B$ ,  $\delta$ .

## 6.2. Розрахункові завдання

Розрахувати необхідну товщину шару матеріалу на подавальному стрічковому конвеєрі та час набору дози за таких умов:

№	$m_k$ , г	$\phi$	$B$ , м	$v_k$ , м/с	$z$ , м	$K_p$	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$p_1/p_2$
1	100	0,9	0,05	0,02	0,15	0,45	800	5
2	200	0,9	0,07	0,01	0,2	0,5	2300	5
3	300	0,95	0,12	0,03	0,1	0,5	1400	5
4	400	0,95	0,15	0,05	0,16	0,4	1700	5
5	200	0,9	0,06	0,02	0,15	0,45	800	5
6	300	0,9	0,08	0,01	0,2	0,5	2300	5
7	500	0,95	0,14	0,03	0,1	0,5	1400	5
8	1000	0,95	0,16	0,05	0,16	0,4	1700	5
9	100	0,95	0,08	0,02	0,15	0,45	800	5
10	200	0,95	0,12	0,01	0,2	0,5	2300	5
11	300	0,9	0,14	0,03	0,1	0,5	1400	5
12	400	0,9	0,16	0,05	0,16	0,4	1700	5
13	100	0,9	0,05	0,04	0,1	0,45	2800	5
14	200	0,9	0,07	0,03	0,15	0,5	2400	5
15	300	0,95	0,12	0,02	0,2	0,5	1600	5
16	400	0,95	0,15	0,06	0,12	0,4	1800	5

### Зміст протоколу

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

### Література

1. Гавва О.М., Беспалько А.П. Пакувальне обладнання. - К.: ІАЦ «Упаковка», 2008.
2. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.

### Контрольні запитання та завдання

1. Які показники є основними при розрахунку вагового дозатора?
2. Як підвищити точність вагового дозатора?
3. Вкажіть, від яких параметрів залежить продуктивність вагового дозатора.

## Практична робота №7

### РОЗРАХУНОК ДОЗАТОРА ДЛЯ НИЗЬКОВ'ЯЗКИХ РІДИН

**Мета роботи:** навчитися визначати основні параметри дозатора для низьков'язких рідин.

#### 7.1. Теоретична частина

Для жорсткої і напівжорсткої тари може застосовуватися дозування за рівнем в цій тарі.

За гідравлічною схемою при дозуванні за рівнем можливі варіанти наповнення із короткою або довгою трубкою. При застосуванні короткої трубки, яка не занурюється в тару, необхідно забезпечити режим, за якого плівка рідини переміщається рівномірно по стінках тари для зменшення збурень поверхні.

Приклад схеми дозатора показано на рис. 7.1.

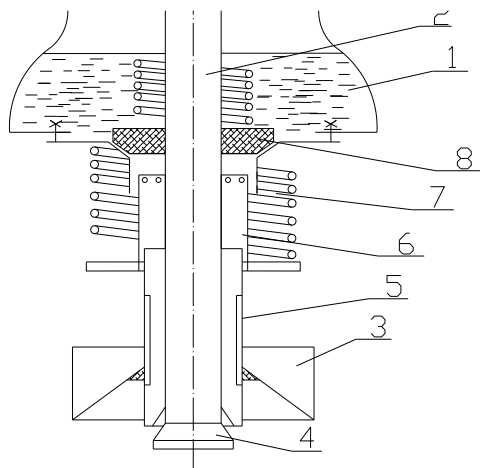


Рис. 7.1. Схема барометричного дозатора за рівнем

Даний дозатор укріплений в днищі вихідного резервуару 1 і складається з рухомої повітряної трубки 2, що з'єднує порожнину тари з повітряним простором резервуару, дзвіночка 3, клапана зливного 4 і верхнього 8, патрубків 5 і 6, і пружини 7. Дзвіночок 3 можна переміщати по трубці 5 на різьбленні, регулюючи заданий рівень в тарі.

При підведенні тари (не показана) вона центрується дзвіночком 3, упирається в його ущільнення і підіймає разом із зливною трубкою 5, відкриваючи зливний

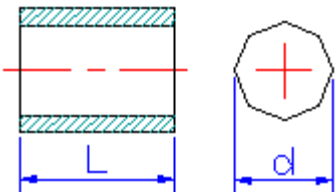
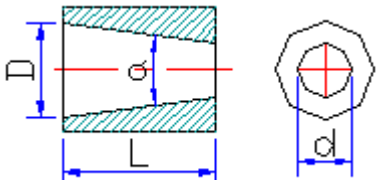
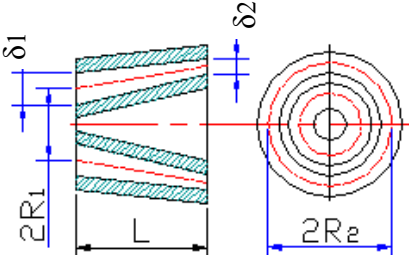
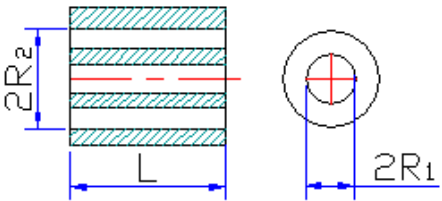
клапан 4. Підіймаючись далі, трубка 5 і дзвіночок 3 упирається в упор трубки 6, підіймаючи її з собою. Підіймаючись, трубка 6 відкриває верхній клапан 8, і рідина заповнює тару.

Коли рівень рідини в тарі досягає нижньої кромки повітряної трубки 2, тиск в тарі приходить в рівновагу із тиском в резервуарі 1, і потік рідини припиняється. При опусканні тари система під дією пружини 7 приходить в вихідне положення.

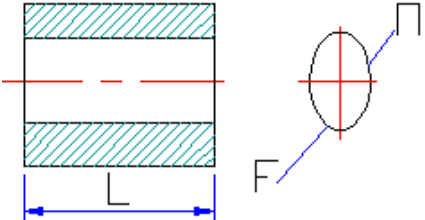
**Розрахунок дозатора складається з таких стадій:**

1. Розбиття каналів на ділянки з постійно. геометрією або такою, що монотонно змінюється (див. табл. 7.1).

**Таблиця 7.1**

Тип каналу	Ескіз	$K_i, \text{м}^3$	$\dot{V}, \text{с}^{-1}$
Круглий циліндровий		$\frac{\pi d^4}{128L}$	$\frac{32Q}{\pi d^3}$
Круглий конічний з великим діаметром на вході		$\frac{3\pi D^3 d^3}{128L(D^2 + Dd + d^2)}$	$\frac{256Q}{\pi(D^3 + d^3)}$
Конічний кільцевий з кінцевої щілиною <sup>1</sup>		$\frac{\pi(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)}{6L\omega}$	$\frac{22.32 \cdot Q}{\pi \cdot (R_1 + R_2)(\delta_2 + \delta_1)^2}$
Кільцевий		$\frac{\pi(R_2 + R_1)(R_2 - R_1)^3}{12L}$	$\frac{5.58 \cdot Q}{\pi \cdot (R_1 + R_2) \cdot (R_2 - R_1)^2}$

Продовження таблиці 7.1

Тип каналу	Ескіз	$K_i, \text{м}^3$	$\dot{\gamma}, \text{с}^{-1}$
Циліндровий з довільним поперечним перерізом <sup>2</sup>		$\frac{F^3}{2L\Pi^2}$	$\frac{2Q\Pi}{F^2}$

$$^1\omega = \frac{2.3(R_1 - R_2)^2}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)^2} \lg \frac{R_1\delta_2}{R_2\delta_1} - \frac{(R_1 - R_2)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)\delta_1\delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2\delta_1^2\delta_2^2};$$

$F$  – площа поперечного перерізу каналу;  $\Pi$  – периметр поперечного перерізу.

- Визначення для кожної ділянки коефіцієнта геометричної форми  $K_i$ .
- Визначення перепаду тиску на кожній ділянці:

$$\Delta P_i = \frac{Q \cdot \mu}{K_i}.$$

- Сумарний перепад тиску в каналі:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \dots + \Delta P_n.$$

Канал (рис. 7.2) являє собою кінцеву ділянку дозатора з короткою трубкою і симетричним спрямуванням струменю рідини по стінках тари.

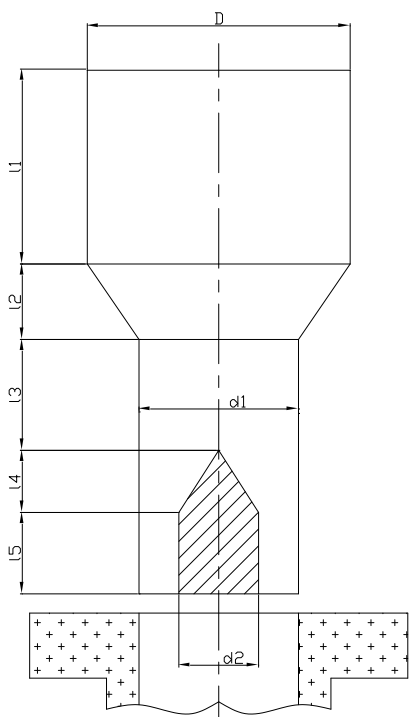


Рис. 7.2. Схема каналу дозувальної головки.

## 7.2. Розрахункові завдання

Розрахувати необхідний перепад тиску для забезпечення заданої продуктивності в каналі дозуючої головки:

№	$D$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$l_3$ , мм	$l_4$ , мм	$l_5$ , мм	$\mu$ , Па·с· $10^3$	$Q$ , мм <sup>3</sup> /с· $10^{-4}$
1	30	20	16	250	40	80	10	30	1	6
2	40	24	18	300	50	100	14	10	0,7	10
3	50	30	24	300	60	120	30	40	1,2	50
4	60	30	22	200	40	60	40	30	0,8	100
5	34	20	16	250	40	80	10	30	1	10
6	44	24	20	300	50	100	14	10	0,7	20
7	50	32	26	300	60	120	30	40	1,2	80
8	60	40	30	200	40	60	40	30	0,8	120
9	30	20	16	300	50	80	14	30	1	6
10	40	24	18	350	60	100	20	10	0,7	10
11	50	30	24	400	80	120	25	40	1,2	50
12	60	30	22	250	70	60	30	30	0,8	100
13	30	20	16	250	40	60	14	30	1,2	10
14	40	24	18	300	50	80	20	10	0,8	20
15	50	30	24	300	60	140	24	40	1,4	80
16	60	30	22	200	40	160	30	30	1	120

## **Зміст протоколу**

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

## **Література**

1. Каталымов А.В., Любартович С.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов. - Л.: Химия, 1990. – 240 с.
2. Машины для фасования пищевых жидкостей в бутылки / Ц.Р.Зайчик, В.А. Трунов, В.К. Яшин - М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
3. Погрузочно-разгрузочные и транспортные операции на линиях розлива пищевых продуктов / А.И. Соколенко, М.И.Юхно, О.И. Ковальов и др. - М.: Агропромиздат, 1986. – 220 с.

## **Контрольні запитання та завдання**

1. Які показники є основними при розрахунку дозатора?
2. Яка послідовність розрахунку дозатора?
3. Вкажіть, від яких параметрів залежить перепад тиску у дозаторі.

## Практична робота №8

### РОЗРАХУНОК ДОЗАТОРА ДЛЯ ВИСОКОВ'ЯЗКИХ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИН

**Мета роботи:** навчитися визначати основні параметри дозатора для високов'язких рідин.

#### 8.1. Теоретична частина

При підвищенні в'язкості рідин змінюються і їх властивості, а значить вимоги до їх дозування і конструкція дозуючих пристроїв.

При дозуванні в'язких рідин використовують в основному об'ємний метод.

Особливістю дозування в'язких рідин є те, що рідині даного типу не витікають під силою власного напору, внаслідок чого є необхідність в додаткових нагнітаючих пристроях: поршнях, насосах, шнеках і т.д.

В'язкі рідини, як правило, проявляють неньютонівські властивості, тобто не підкоряються закону Ньютона і їхня в'язкість не є постійною.

Найчастіше залежність між напруженням та режимом течії неньютонівських рідин апроксимують степеневим законом:

$$\tau = k\dot{\gamma}^n,$$

де  $k$  – коефіцієнт консистенції, який є в'язкістю при швидкості зсуву, що прагне до 0;  $n$  – показник текучості розплаву.

Розрахунок дозаторів складається з таких стадій:

- 1.Розбиття каналів на ділянки з постійної геометрією або такою, що монотонно змінюється (табл. 7.1).
- 2.Визначення для кожної ділянки коефіцієнта геометричної форми  $K_i$ .
- 3.Визначення швидкості зсуву на стінці для кожної ділянки (див. табл. 7.1).
- 4.В'язкість на кожній ділянці визначається як функція швидкості зсуву:

$$\mu = \mu_0 \dot{\gamma}^{n-1},$$

де  $\mu_0$  – коефіцієнт консистенції;  $n$  – індекс текучості, знаходяться за довідковими даними для кожної рідини.

- 5.Визначення перепаду тиску на кожній ділянці з урахуванням в'язкості як функції швидкості зсуву на стінці  $\dot{\gamma}$ :

$$\Delta P_i = \frac{Q \cdot \mu_i}{K_i}.$$

- 6.Сумарний перепад тиску в головці:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \dots + \Delta P_n.$$



## 8.2. Розрахункові завдання

Розрахувати необхідний перепад тиску для забезпечення заданої продуктивності в каналі дозувальної головки (рис. 7.2):

№	$D$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$l_3$ , мм	$l_4$ , мм	$l_5$ , мм	$\mu_0$ , Па·с	$n$	$Q$ , мм <sup>3</sup> /с·10 <sup>-4</sup>
1	30	20	16	250	40	80	10	30	2000	0,34	6
2	40	24	18	300	50	100	14	10	2500	0,24	10
3	50	30	24	300	60	120	30	40	3500	0,35	50
4	60	30	22	200	40	60	40	30	1500	0,45	100
5	34	20	16	250	40	80	10	30	1500	0,33	10
6	44	24	20	300	50	100	14	10	1600	0,24	20
7	50	32	26	300	60	120	30	40	1800	0,33	80
8	60	40	30	200	40	60	40	30	2000	0,21	120
9	30	20	16	300	50	80	14	30	2200	0,22	6
10	40	24	18	350	60	100	20	10	2600	0,34	10
11	50	30	24	400	80	120	25	40	2800	0,32	50
12	60	30	22	250	70	60	30	30	1700	0,23	100
13	30	20	16	250	40	60	14	30	1800	0,26	10
14	40	24	18	300	50	80	20	10	2400	0,21	20
15	50	30	24	300	60	140	24	40	2000	0,36	80
16	60	30	22	200	40	160	30	30	1600	0,26	120

### Зміст протоколу

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

### Література

1. Каталымов А.В., Любартович С.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов. - Л.: Химия, 1990. – 240 с.
2. Машины для фасования пищевых жидкостей в бутылки / Ц.Р.Зайчик, В.А. Трунов, В.К. Яшин - М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
3. Погрузочно-разгрузочные и транспортные операции на линиях розлива пищевых продуктов /А.И. Соколенко, М.И.Юхно, О.И. Ковальов и др. - М.: Агропромиздат, 1986. – 220 с.

### Контрольні запитання та завдання

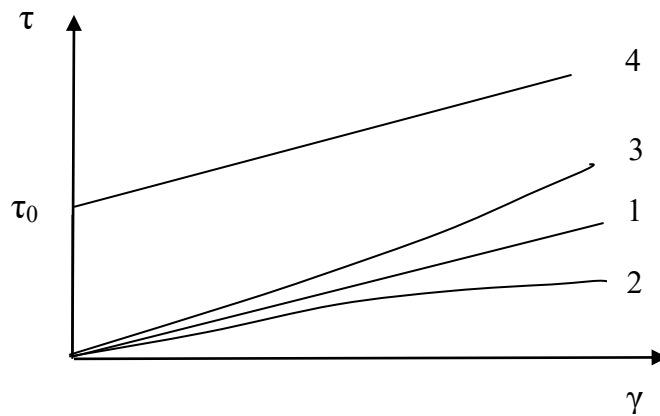
1. Які показники є основними при розрахунку дозатора?
2. Яка послідовність розрахунку дозатора?
3. Вкажіть, від яких параметрів залежить в'язкість неньютонівських рідин.

## Практична робота №9 ВИЗНАЧЕННЯ В'ЯЗКОСТІ РІДИН

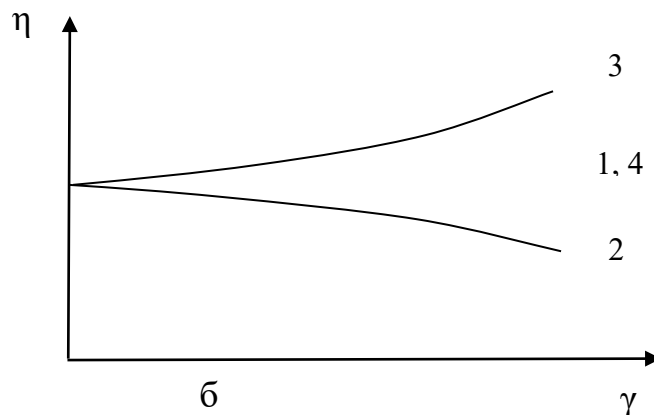
**Мета роботи:** навчитися визначати в'язкості рідин з різними властивостями

### 9.1. Теоретична частина

Відмінність властивостей середовищ, які підкоряються різним законам, видно з графіків на рис. 9.1, а, б.



а



б

Рис. 9.1. Властивості рідин: а – залежність напруження від швидкості зсуву; б – залежність в'язкості від швидкості зсуву для рідин: 1 – ньютонівська, 2 – псевдопластична, 3 – дилатантна, 4 – в'язкопластична

Згідно закону Ньютона  $\tau = \mu \dot{\gamma}$ ,

де  $\tau$  – дотичне напруження,  $\dot{\gamma}$  – швидкість зсуву,  $\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \text{const}$  – в'язкість.

Неньютонівська рідина – рідина, для якої  $\mu \neq \text{const}$ .

$$\tau = k \dot{\gamma}^n \text{ – степеневий закон для псевдопластичних рідин,}$$

де  $k$  – коефіцієнт консистенції,  $n$  – показник текучості розплаву.

Для в'язкопластичної рідини:

$$\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma},$$

де  $\tau_0$  – початкове напруження зсуву,  $\eta$  – пластична в'язкість.

## 9.2. Розрахункові завдання

Визначити в'язкість рідини, якщо швидкість зсуву в ній складає  $\dot{\gamma}$ ,  $\text{с}^{-1}$ , а дотичне напруження  $\tau$ , Па, за умови:

- а) рідина ньютонівська,
- б) рідина псевдопластична,
- в) рідина в'язкопластична, початкове напруження зсуву  $\tau_0$ , Па.

№	$\dot{\gamma}$ , $\text{с}^{-1}$	$\tau$ , Па	$\tau_0$ , Па
1	100	$1 \cdot 10^3$	200
2	200	$2 \cdot 10^3$	400
3	300	$3 \cdot 10^3$	800
4	400	$4 \cdot 10^3$	1000
5	200	$1 \cdot 10^3$	200
6	300	$2 \cdot 10^3$	400
7	400	$3 \cdot 10^3$	800
8	500	$4 \cdot 10^3$	1000
9	100	$2 \cdot 10^3$	200
10	200	$3 \cdot 10^3$	400
11	300	$4 \cdot 10^3$	800
12	400	$1 \cdot 10^3$	1000
13	100	$1 \cdot 10^3$	1000
14	200	$2 \cdot 10^3$	800
15	300	$3 \cdot 10^3$	400

16	400	$4 \cdot 10^3$	600
----	-----	----------------	-----

### **Зміст протоколу**

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

### **Література**

1. Каталымов А.В., Любартович С.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов. - Л.: Химия, 1990. – 240 с.
2. Машины для фасования пищевых жидкостей в бутылки / Ц.Р.Зайчик, В.А. Трунов, В.К. Яшин - М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
3. Кузнецов О.А., Волошин Е.В., Сагитов Р.Ф. Реология пищевых масс: Учебное пособие. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. - 106 с.

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Як визначається в'язкість псевдопластичної рідини?
2. Як визначається в'язкість в'язкопластичної рідини?
3. Вкажіть, від яких параметрів залежить в'язкість неньютонівських рідин.

## Практична робота №10

### ВИЗНАЧЕННЯ ДОТИЧНИХ НАПРУЖЕНЬ В РІДИНІ

**Мета роботи:** навчитися визначати дотичні напруження в рідинах з різними властивостями

#### 10.1. Теоретична частина

Теоретичні відомості – див. завдання №9.

#### 10.2. Розрахункові завдання

Визначити дотичне напруження в рідині (див. табл.), якщо швидкість зсуву в ній складає  $\dot{\gamma} = 100\text{с}^{-1}$ , за умови:

а) рідина ньютонівська, в'язкість  $\mu = 20\text{ Па}\cdot\text{с}$ ;

б) рідина псевдопластична, індекс течії  $n = 0,5$ , коефіцієнт консистенції  $\kappa = 1000\text{ Па}\cdot\text{с}$ ;

в) рідина в'язкопластична, в'язкість  $\eta = 20\text{ Па}\cdot\text{с}$ , початкове напруження зсуву  $\tau_0 = 200\text{ Па}$ .

№	$\dot{\gamma}, \text{с}^{-1}$	$\mu, \text{Па}\cdot\text{с}$	$n$	$\kappa, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\tau_0, \text{Па}$
1	100	20	0,5	$1\cdot 10^3$	20	200
2	200	40	0,4	$4\cdot 10^3$	50	100
3	300	30	0,3	$3\cdot 10^3$	30	800
4	400	20	0,5	$2\cdot 10^3$	40	2000
5	200	20	0,5	$1\cdot 10^3$	20	200
6	300	40	0,4	$4\cdot 10^3$	50	100
7	400	30	0,3	$3\cdot 10^3$	30	800
8	500	20	0,5	$2\cdot 10^3$	40	2000
9	100	20	0,5	$2\cdot 10^3$	20	300
10	200	40	0,4	$3\cdot 10^3$	50	200
11	300	30	0,3	$1\cdot 10^3$	30	600
12	400	20	0,5	$4\cdot 10^3$	40	1000
13	100	30	0,5	$1\cdot 10^3$	30	200
14	200	50	0,4	$4\cdot 10^3$	60	100
15	300	40	0,3	$3\cdot 10^3$	20	800
16	400	60	0,5	$2\cdot 10^3$	50	2000

## **Зміст протоколу**

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

## **Література**

1. Катылов А.В., Любартович С.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов. - Л.: Химия, 1990. – 240 с.
2. Машины для фасования пищевых жидкостей в бутылки / Ц.Р.Зайчик, В.А. Трунов, В.К. Яшин - М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
3. Кузнецов О.А., Волошин Е.В., Сагитов Р.Ф. Реология пищевых масс: Учебное пособие. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. - 106 с.

## **Контрольні запитання та завдання**

1. Як визначити дотичне напруження в псевдопластичній рідині?
2. Як визначити дотичне напруження в в'язкопластичній рідині?
3. Які ви знаєте різновиди неньютонівських рідин?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гавва О.М., Беспалько А.П. Пакувальне обладнання. - К.: ІАЦ «Упаковка», 2008.
2. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356 с.
3. Чернов М.Е. Упаковка сыпучих продуктов: учебное пособие. - М.: Де Ли, 2000. – 163 с.
4. Сторіжко Й.І., Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Термінологічний довідник пакувальника. - К.: ІАЦ „Упаковка”, 1999. - 80 с.
5. Упаковка грузов: справочник / Н.В.Акимов, Н.Н.Андропова, Н.М.Гаврюшин и др. - М.: Транспорт, 1992. – 480 с.
6. Катылов А.В., Любатович С.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов. - Л.: Химия, 1990. – 240 с.
7. Машины для фасования пищевых жидкостей в бутылки / Ц.Р. Зайчик, В.А. Трунов, В.К. Яшин. - М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
8. Погрузочно-разгрузочные и транспортные операции на линиях розлива пищевых продуктов /А.И. Соколенко, М.И. Юхно, О. И. Ковалев и др. - М.: Агропромиздат, 1986. – 220 с.
9. Колосов О.Є. Технологія пакувального виробництва (навчальний посібник). К.: ВПК «Політехніка» НТУУ КПІ, 2015. - 247 с. (Лист МОНУ №1/11-12071 від 29.07.2014р.).
10. Колосов О.Є. Технологія зберігання харчової продукції: неупакованої та упакованої із застосуванням полімерних плівкових матеріалів (навчальний посібник). К.: ВПК «Політехніка» НТУУ КПІ, 2015. – 179 с. (Лист МОНУ №1/11-11495 від 22.07.2014р.)
11. Колосов О.Є. Технологія пакування продукції: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.; електронне видання]. К.: НТУУ КПІ, 2016. - 208 с. Назва з екрана. Доступ : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/14444>
12. Колосов О.Є. Технологія зберігання неупакованої та упакованої харчової продукції: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.; електронне видання] К.: НТУУ КПІ, 2016. - 180 с. Назва з екрана. – Доступ : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/14443>
13. Сокольський О. Л., Колосов О.Є. Пакувальне обладнання. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050502 «Інженерна механіка», програмою професійного спрямування «Машини і технологія пакування»; спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 51 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №8 від 19.04.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23461>

14.Сокольський О. Л., Колосов О.Є. Пакувальне обладнання. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050502 «Інженерна механіка», програмою професійного спрямування «Машини і технологія пакування»; спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 41 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №8 від 19.04.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23460>

15.Колосов О.Є. Технологія пакування та зберігання пакованої продукції. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 35 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №9 від 24.05.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23467>

16.Колосов О.Є. Технологія пакування та зберігання пакованої продукції. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 68 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №9 від 24.05.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23450>

17.Колосов О.Є. Технологія пакування та зберігання пакованої продукції: Самостійна робота студентів з навчальної дисципліни [Електронний ресурс] : навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 27 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №9 від 24.05.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23471>



## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Мета та основні завдання практичних занять.....	4
2. Рекомендації щодо підготовки та проведення практичних занять.....	5
<b>Практична робота №1. Розрахунок роторного живильника.....</b>	<b>6</b>
<b>Практична робота №2. Розрахунок тарілчастого живильника.....</b>	<b>9</b>
<b>Практична робота №3. Розрахунок шнекового живильника.....</b>	<b>13</b>
<b>Практична робота №4. Розрахунок стрічкового живильника.....</b>	<b>16</b>
<b>Практична робота №5. Розрахунок вібраційного живильника.....</b>	<b>19</b>
<b>Практична робота №6. Розрахунок вагового дозатора.....</b>	<b>24</b>
<b>Практична робота №7. Розрахунок дозатора для низьков'язких рідин.....</b>	<b>27</b>
<b>Практична робота №8. Розрахунок дозатора для високов'язких неньютонівських рідин.....</b>	<b>32</b>
<b>Практична робота №9. Визначення в'язкості рідин.....</b>	<b>34</b>
<b>Практична робота №10. Визначення дотичних напружень в рідині.....</b>	<b>37</b>
Список рекомендованої літератури.....	39

Електронне мережне навчальне видання

**Сокольський Олександр Леонідович**  
**Колосов Олександр Євгенович**

**ПАКУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ.**  
**Практикум**

*для студентів,  
які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»,  
спеціалізацією «Інжиніринг пакування та пакувального обладнання»  
денної форми навчання*

Комп'ютерна правка та верстка – *авторські*